

Coeficientes de Cultivo da Cana-de-Açúcar Irrigada por Gotejamento Subsuperficial



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroindústria Tropical
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 90

Coeficientes de Cultivo da Cana-de-Açúcar Irrigada por Gotejamento Subsuperficial

*Fabício Mota Gonçalves
Fábio Rodrigues de Miranda*

Embrapa Agroindústria Tropical
Fortaleza, CE
2014

Unidade responsável pelo conteúdo e edição:

Embrapa Agroindústria Tropical

Rua Dra. Sara Mesquita 2270, Pici

CEP 60511-110 Fortaleza, CE

Fone: (85) 3391-7100

Fax: (85) 3391-7109

www.cnpat.embrapa.br

www.embrapa.br/fale-conosco

Comitê de Publicações da Embrapa Agroindústria Tropical

Presidente: *Marlon Vagner Valentim Martins*

Secretário-Executivo: *Marcos Antônio Nakayama*

Membros: *José de Arimatéia Duarte de Freitas, Celli Rodrigues*

Muniz, Renato Manzini Bonfim, Rita de Cassia Costa

Cid, Rubens Sonsol Gondim, Fábio Rodrigues de Miranda

Revisão de texto: *Marcos Antônio Nakayama*

Normalização bibliográfica: *Rita de Cassia Costa Cid*

Fotos da capa: *Fábio Rodrigues de Miranda*

Editoração eletrônica: *Arilo Nobre de Oliveira*

1ª edição (2014): versão eletrônica

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Agroindústria Tropical

Gonçalves Fabrício Mota.

Coeficientes de cultivo da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial / Fabrício Mota Gonçalves, Fábio Rodrigues de Miranda. - Fortaleza : Embrapa Agroindústria Tropical, 2014.

24 p. : il. ; 14,8 cm x 21 cm. – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Agroindústria Tropical, ISSN 1679-6543 ; 90).

1. *Saccharum officinarum*. 2. Microirrigação. 3. Manejo. 4. Evapotranspiração. I. Miranda, Fábio Rodrigues de. II. Título. III. Série.

CDD 631.52361

© Embrapa 2014

Sumário

Resumo	4
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	8
Resultados e Discussão.....	13
Conclusões.....	21
Agradecimentos	21
Referências	22

Coeficientes de Cultivo da Cana-de-Açúcar Irrigada por Gotejamento Subsuperficial

Fabício Mota Gonçalves¹

Fábio Rodrigues de Miranda²

Resumo

O estudo objetivou determinar os coeficientes de cultivo (K_c), nas fases fenológicas da cana-de-açúcar (primeiro ciclo), irrigada por gotejamento subsuperficial. O experimento foi conduzido em uma área irrigada de 0,73 ha, em Paraipaba, CE (latitude $3^{\circ}29'20''S$, longitude $39^{\circ}9'45''O$ e altitude de 30 m), utilizando-se a variedade de cana SP71-6949, plantada no espaçamento de 1,8 m entre fileiras duplas e 0,4 m entre linhas dentro da fileira dupla. A cultura foi irrigada diariamente por meio de uma linha lateral para cada fileira dupla, enterrada na profundidade de 0,15 m, com gotejadores espaçados de 0,5 m, mantendo-se o potencial de água no solo entre -8 kPa e -20 kPa. Dados diários de evapotranspiração da cultura (ET_c) foram obtidos em um lisímetro de pesagem, com área superficial de 2,25 m². Dados de evapotranspiração de referência (ET_0) foram obtidos pelo método FAO Penman-Monteith. Foram observadas durações de 31, 49, 237 e 118 dias, para as fases inicial, de desenvolvimento, intermediária e final, respectivamente. A ET_c variou de 0,54 mm d⁻¹, na fase

¹Tecnólogo em Recursos Hídricos e Irrigação, M.Sc. em Engenharia Agrícola, doutorando da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, fabriciomota21@yahoo.com.br

²Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Engenharia de Biossistemas, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, fabio.miranda@embrapa.br

inicial, a $6,7 \text{ mm d}^{-1}$, na fase intermediária. Foram observados valores de K_c de 0,23, 1,03 e 0,50, nas fases inicial, intermediária e final, respectivamente. A produtividade média de colmos foi de $108,8 \text{ t ha}^{-1}$.

Termos para indexação: *Saccharum officinarum*, microirrigação, manejo da irrigação, evapotranspiração.

Sugarcane Crop Coefficients under Subsurface Drip Irrigation

Abstract

The study aimed to determine crop coefficients (K_c) for phenological stages of subsurface drip irrigated sugarcane (first cycle). The trial was carried out in an irrigated area of 0.73 ha, located in Paraipaba, CE, Brazil (latitude $3^{\circ}29'20''S$, longitude $39^{\circ}9'45''W$ and altitude of 30 m). Sugarcane variety SP71-6949 was planted at a spacing of 1.8 m between double rows and 0.4 m between rows within the double row. The crop was irrigated daily, by one lateral for each double row, buried at a depth of 0.15 m, with drippers spaced of 0.5 m, keeping the soil water potential in the root zone between -8 kPa and -20 kPa. Daily measurements of crop evapotranspiration (ET_c) were performed using a weighing lysimeter with a surface area of 2.25 m². Reference evapotranspiration (ET_0) was estimated using the FAO Penman-Monteith equation. Durations of 31, 49, 237 and 118 days were observed for initial, crop development, mid-season and late season stages, respectively. The ET_c ranged from 0.54 mm d⁻¹ in the initial stage to 6.7 mm d⁻¹ in the mid-season stage. K_c values of 0.23, 1.03 and 0.50 were observed in the initial, mid-season and late season stages, respectively. The average sugarcane yield was 108.8 t ha⁻¹.

Index terms: Saccharum officinarum, microirrigation, irrigation scheduling, evapotranspiration.

Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma cultura que produz grande quantidade de biomassa e apresenta elevado consumo de água (TEJERA et al., 2007; WIEDENFELD, 2004). Em regiões com déficit hídrico acentuado, como o Semiárido do Nordeste brasileiro, a irrigação suplementar da cana-de-açúcar é fundamental para a obtenção de altas produtividades. Contudo, apesar do grande número de informações sobre a demanda de água dessa cultura em vários lugares do mundo, pouco se conhece, ainda, sobre suas exigências hídricas no Semiárido nordestino (SILVA et al., 2012).

Os métodos de irrigação tradicionalmente utilizados na cana-de-açúcar, como a irrigação por superfície (sulcos e inundação) e a aspersão (canhão e pivô central), apresentam perdas significativas de água, seja por percolação abaixo da zona radicular ou por deriva pelo vento. Vários estudos têm demonstrado que a utilização da irrigação por gotejamento subsuperficial pode aumentar significativamente a produtividade e a eficiência de uso da água de diversas culturas e, em particular, da cana-de-açúcar. Se forem adequadamente instalados e manejados, os sistemas de irrigação por gotejamento subsuperficial podem ser altamente eficientes, reduzindo o consumo de água, energia e fertilizantes na irrigação da cana (CARR; KNOX, 2011; DALRI et al., 2008; LAMM et al., 2012).

Embora a irrigação por gotejamento subsuperficial apresente potencial de aumentar a eficiência de uso da água em relação a outros métodos de irrigação da cana-de-açúcar, perdas significativas de água e nutrientes por percolação profunda podem ocorrer se o manejo da irrigação não for adequado (ROCHA; LEÃO; ASSIS-JÚNIOR, 2002).

Entre os métodos que podem ser utilizados no manejo da irrigação da cana, a estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c) a partir de dados climáticos e coeficientes de cultivo (K_c) é um dos mais práticos e apresenta resultados altamente satisfatórios (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; WIEDENFELD, 2004). No entanto, o K_c deve ser ajustado, de

preferência, localmente para as diferentes fases fenológicas do cultivo e práticas de manejo (ALLEN et al., 1998).

Embora existam na literatura diversos trabalhos com informações sobre coeficientes de cultivo da cana-de-açúcar (INMAM-BAMBER; MCGLINCHEY, 2003; SILVA et al., 2012; SOUZA; BERNARDO; CARVALHO, 1999; WATANABE et al., 2004), tais estudos foram desenvolvidos utilizando a irrigação por superfície ou por aspersão, e os resultados podem estar superestimados quando aplicados no manejo da irrigação por gotejamento subsuperficial, em que as perdas de água por evaporação são reduzidas, em virtude de a superfície do solo permanecer seca ou com apenas uma fração umedecida.

O presente estudo objetivou determinar os coeficientes de cultivo (K_c) para o manejo da irrigação por gotejamento subsuperficial no primeiro ciclo de cultivo da cana-de-açúcar.

Material e Métodos

O estudo foi realizado no Campo Experimental da Embrapa Agroindústria Tropical, em Paraipaba, CE (latitude $3^{\circ}29'20''$ S, longitude $39^{\circ}09'45''$ O e altitude de 30 m), no período de julho de 2008 a setembro de 2009. O local apresenta relevo plano e solo de textura arenosa, profundo, bem drenado, classificado como Neossolo Quartzarênico, com teores de areia, silte e argila de 89%, 3% e 8%, respectivamente, na camada de 0 m a 0,6 m. O clima da região é do tipo Aw' , segundo a classificação de Köppen, tropical chuvoso, com médias anuais de precipitação de 998 mm e estação chuvosa de fevereiro a maio.

Na Tabela 1, são apresentadas as médias climáticas mensais obtidas a partir de dados horários de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar global e precipitação, medidos em uma estação meteorológica automática instalada na área experimental. A evapotranspiração de referência (ET_0) foi calculada pelo método FAO Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998).

Tabela 1. Médias meteorológicas mensais observadas durante a realização do experimento. Paraipaba, CE, 2008-2009.

Mês/Ano	Temperatura do ar (°C)		Umidade Relativa do ar (%)	Radiação solar global (MJ m ⁻² d ⁻¹)	Velocidade do vento (km d ⁻¹)	Precipitação (mm)	ET ₀ (mm d ⁻¹)
	Máxima	Mínima					
Jul./2008	31,2	21,8	68,3	17,6	173,6	0,0	4,1
Ago./2008	31,2	21,7	67,8	21,7	169,1	16,0	4,9
Set./2008	32,4	22,6	65,5	23,3	188,9	0,0	5,5
Out./2008	32,7	23,6	64,0	24,3	210,3	2,1	6,0
Nov./2008	32,2	23,1	67,1	23,3	152,3	0,0	5,3
Dez./2008	32,2	23,3	61,3	20,9	146,3	0,0	5,1
Jan./2009	32,0	23,7	67,1	19,4	137,6	246,2	5,2
Fev./2009	30,3	23,2	74,2	15,1	116,4	241,4	3,4
Mar./2009	29,3	23,1	82,4	12,8	68,1	570,2	2,9
Abr./2009	29,8	23,1	82,5	13,0	61,4	438,5	2,9
Mai./2009	29,5	23,2	81,2	11,1	54,9	297,9	2,5
Jun./2009	30,2	22,5	80,5	14,3	95,1	189,6	3,1
Jul./2009	29,9	21,8	78,5	15,2	106,4	108,4	3,3
Ago./2009	30,8	21,6	72,1	18,8	147,5	0,0	4,2
Set./2009	31,8	22,6	64,9	21,7	195,6	0,0	5,2

As dimensões da área experimental foram de 102 m x 72 m (0,73 ha), localizada dentro do Distrito de Irrigação Curu-Paraipaba, o qual possui uma área irrigada de aproximadamente 2.000 ha. Cinco meses antes do plantio, foi realizada a aplicação de 1,0 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, seguida de aração profunda e gradagem. Os sulcos de plantio foram abertos com espaçamento de 1,8 m entre fileiras duplas e 0,4 m entre linhas dentro da fileira dupla. Na adubação de fundação, foram aplicados 1.200 kg ha⁻¹ de superfosfato simples (20% P₂O₅).

O plantio da cana-de-açúcar foi realizado em 15 de julho de 2008, utilizando a variedade SP71-6949, a mais plantada na região, com densidade de plantio de 12 gemas por metro linear de sulco e profundidade de plantio de 0,20 m. Foram utilizados colmos provenientes de viveiro, com 10 a 12 meses de idade. Os colmos foram

colocados no fundo dos sulcos, cruzando suas extremidades e foram picados, deixando-se aproximadamente três gemas por tolete. Em seguida, os toletes foram cobertos com uma camada de terra de 0,07 m.

Nos primeiros 10 dias após o plantio (DAP), a cultura foi irrigada por aspersão, visando garantir uma germinação uniforme. A partir dos 11 DAP, a cultura foi irrigada por gotejamento subsuperficial. Foram utilizados tubogotejadores, modelo Netafim DripNet PC®, com emissores autocompensantes, de vazão média igual a 1 L h^{-1} , espaçados de 0,5 m na linha. Foi instalada uma linha lateral no centro de cada fileira dupla da cultura, enterrada na profundidade de 0,15 m (Figura 1).

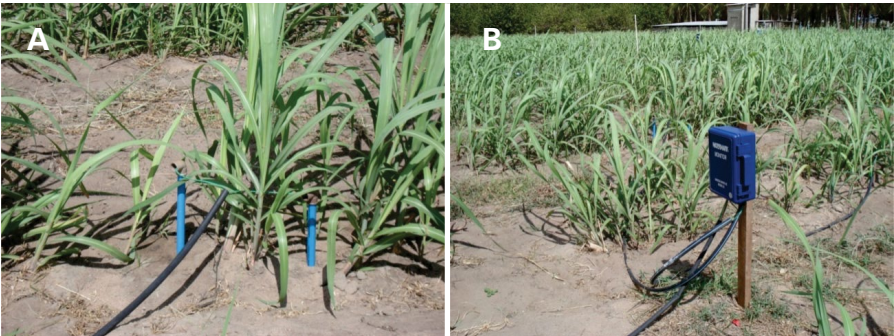
Foto: Fábio Rodrigues de Miranda



Figura 1. Operação simultânea de sulcamento, adubação de fundação e instalação de tubogotejadores em duas fileiras duplas da cana-de-açúcar.

As irrigações foram realizadas com frequência diária e as lâminas de água ajustadas de acordo com a variação da evapotranspiração da cultura (ETc) e do potencial hídrico no solo. No manejo da irrigação, procurou-se manter o potencial hídrico na zona radicular (camada de 0 m a 0,6 m) entre -8 kPa e -25 kPa. No monitoramento do potencial hídrico no solo, foram utilizadas seis baterias de sensores do tipo resistência elétrica com matriz granular, modelo Watermark® 200S. Cada bateria era constituída de dois sensores, instalados em pontos

representativos da área, nas profundidades de 0,2 m e 0,5 m, a uma distância lateral de 0,15 m dos gotejadores (Figura 2). As leituras dos sensores foram realizadas em intervalos de 60 minutos, utilizando duas estações Watermark Monitor®, que possuíam sensores de temperatura do solo para a correção das leituras de resistência elétrica. Aos 360 DAP, as irrigações foram suspensas visando ao aumento do teor de sacarose da cana-de-açúcar antes da colheita.



Fotos: Fábio Rodrigues de Miranda

Figura 2. Sensores (A) e estação de coleta de dados (B) utilizados no monitoramento do potencial hídrico na zona radicular da cana-de-açúcar.

Dos 19 até os 220 DAP, a cultura foi fertirrigada três vezes por semana, aplicando-se quantidades de nutrientes indicadas na Tabela 2. Como fontes de nutrientes, foram utilizados os seguintes fertilizantes: ureia (45 % N), KCl (60% K₂O), ZnSO₄ (20% Zn, 16% S) , H₃BO₃ (17% B) e CuSO₄ (13% Cu, 16% S).

Tabela 2. Doses de nutrientes aplicados na fertirrigação na cana-de-açúcar. Paraipaba, CE, 2008-2009.

Dias após o plantio	N	K	Zn	S	B	Cu
	kg ha ⁻¹					
19 a 50	9,9	6,0	1,0	0,8	0,0	0,7
51 a 80	9,9	6,0	1,0	0,8	0,0	0,7
81 a 110	11,7	7,2	1,0	0,8	0,0	0,7
111 a 140	11,7	7,2	1,0	0,8	0,0	0,7
141 a 170	14,4	9,0	1,0	0,8	0,0	0,7
171 a 200	32,4	9,0	1,0	0,8	0,2	0,7
201 a 220	32,4	12,0	1,0	0,8	0,2	0,7
Total	122,4	56,4	7,0	5,6	0,4	4,9

A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi medida utilizando-se um lisímetro de pesagem com dimensões de 1,50 m por 1,50 m de largura e 1,00 m de profundidade, descrito por Miranda et al. (1999), posicionado no centro da área experimental. O lisímetro era constituído por duas caixas metálicas, sendo a caixa interna apoiada sobre uma balança eletrônica tipo plataforma (modelo DS6060-10, Weigh-Tronix, Inc.), com capacidade de pesagem de 4,54 Mg (Figura 3).

Antes do plantio da cana, o lisímetro foi calibrado conforme metodologia utilizada por Miranda et al. (1999), apresentando resposta linear às variações de massa, alto coeficiente de determinação da equação de calibração ($r^2 > 0,99$) e sensibilidade para detecção de mudanças de massa de 200 g, equivalente a uma lâmina d'água de 0,09 mm.

Fotos: Fábio Rodrigues de Miranda



Figura 3. Plantas de cana-de-açúcar no lisímetro de pesagem aos 43 (A) e 85 (B) dias após o plantio.

As leituras do lisímetro foram realizadas com um datalogger modelo 21X (Campbell Scientific, Inc.) a cada 60 segundos, e as médias, registradas a cada 60 minutos. A ET_c foi calculada pela diferença das leituras do lisímetro às 4h e às 23h de cada dia (fora do horário previsto para as irrigações), sendo o resultado dividido pela área do lisímetro. Nos dias em que ocorreram precipitações pluviométricas, os dados de ET_c foram descartados, em virtude da dificuldade em se quantificar a lâmina de água efetivamente captada na superfície do lisímetro.

Dados diários de evapotranspiração de referência (ET_0) foram estimados pelo método de Penman-Monteith-FAO (ALLEN et al., 1998). Valores diários ET_c e ET_0 foram utilizados para calcular os valores diários de coeficiente de cultivo ($K_c = ET_c/ET_0$).

Para efeito do cálculo dos coeficientes de cultivo médios, o ciclo da cultura foi dividido em quatro fases fenológicas, definidas, de acordo com Allen et al. (1998), em: inicial, crescimento vegetativo, intermediária e final. Para a determinação das durações das fases fenológicas inicial e de crescimento vegetativo, a porcentagem de cobertura vegetal da cana foi determinada semanalmente, utilizando imagens digitais, tomadas a 3 m de altura, acima do lisímetro de pesagem. A determinação da área de cobertura vegetal foi realizada utilizando o programa Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo (Siarcs®). A fração de cobertura do solo (f_c) foi calculada pela relação entre área da superfície do solo coberta pelas plantas, computada pelo software a partir das imagens, e a área superficial do lisímetro.

A colheita da cana foi realizada de forma manual e sem queima, em 22 de setembro de 2009 (435 DAP). Para a determinação da produtividade, os colmos produzidos na superfície do lisímetro e em cinco áreas amostrais de 18 m² (10 m x 1,8 m), escolhidas de forma aleatória, foram colhidos e pesados separadamente.

Resultados e Discussão

Potencial de água no solo

O potencial da água no solo, até os 390 DAP, variou entre 0 kPa e -22 kPa nas profundidades de 0,2 m e 0,5 m (Figura 4), não caracterizando a ocorrência de estresse hídrico para a cultura. No período de 210 a 258 DAP, não foi possível realizar a coleta dos dados de potencial de água no solo em virtude de falhas nas estações. Segundo Wiedenfeld (2004), pode-se considerar que a cana-de-açúcar está sob estresse hídrico quando o potencial de água no solo está

abaixo de -55 kPa. Na fase de maturação da cana, após a suspensão das irrigações (360 DAP) e o fim das precipitações (em julho de 2009), o potencial da água no solo ficou menor, chegando a atingir -120 kPa próximo à colheita.

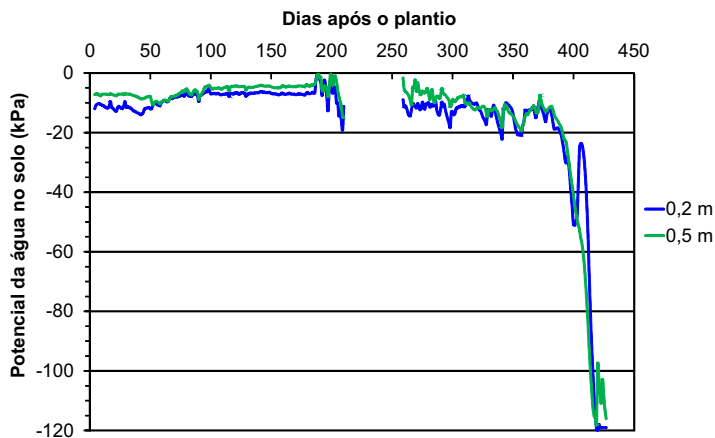


Figura 4. Variação do potencial da água no solo nas profundidades de 0,2 m e 0,5 m durante o primeiro ciclo da cana-de-açúcar.

Cobertura do solo e durações das fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar

A cultura apresentou desenvolvimento vegetativo intenso no período de 20 a 100 DAP (Figura 5), principalmente na fase de perfilhamento (de 44 a 100 DAP). A relação entre o número de dias após o plantio e a fração do solo coberta pela cultura pode ser representada com boa precisão ($r^2 > 0,99$) por um modelo polinomial de terceira ordem no período de 20 a 110 DAP. Após 110 DAP, a fração do solo coberta pela cultura tendeu a se estabilizar em torno de 0,9.

Para algumas culturas, principalmente aquelas com altura maior que 0,5 m, considera-se que a cobertura completa do solo se dá quando a fração da superfície do solo coberta pela vegetação (f_c) é de 0,7 a 0,8, caracterizando o final da fase de crescimento vegetativo e o início da fase intermediária (ALLEN et al., 1998). No presente estudo essa condição ($f_c = 0,7$) ocorreu aos 85 DAP.

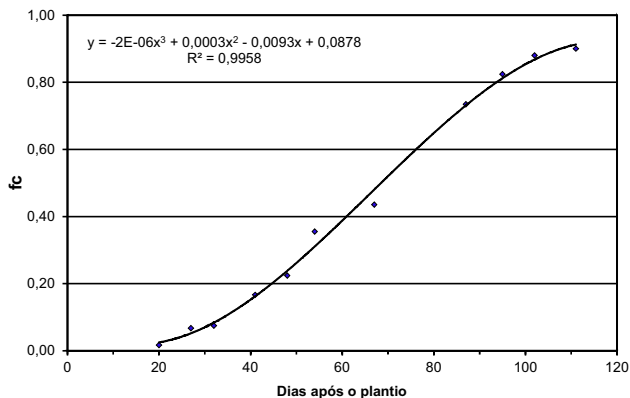


Figura 5. Fração da superfície do solo (f_c) coberta pela cana-de-açúcar durante o primeiro ciclo.

Na Figura 6, pode ser visualizada a cobertura do solo ao final das fases inicial e de desenvolvimento vegetativo.



Fotos: Fábio Rodrigues de Miranda

Figura 6. Imagens da cobertura vegetal da cana-de-açúcar no lisímetro de pesagem ao final das fases inicial (A) e de desenvolvimento vegetativo (B).

As durações das fases fenológicas da cana-de-açúcar observadas no presente estudo, de acordo com a metodologia adotada pela FAO (ALLEN et al., 1998), foram de 31, 54, 232 e 118 dias para as fases inicial, desenvolvimento vegetativo, intermediária e final, respectivamente.

Tais valores são semelhantes às durações médias mencionadas por Allen et al. (1998) para cana planta em regiões de baixa latitude,

de 35, 60, 190 e 120 dias, para as fases inicial, desenvolvimento vegetativo, intermediária e final, respectivamente. Para a cana soca, na região do Submédio São Francisco, Silva et al. (2012) observaram valores de duração das fases fenológicas de 30, 78, 238 e 41 dias, para as fases inicial, desenvolvimento vegetativo, intermediária e final, respectivamente. Na região costeira da Paraíba, Silva et al. (2013) observaram durações de 30, 50, 180 e 60 dias para as fases inicial, desenvolvimento vegetativo, intermediária e final da cana soca, respectivamente.

Produtividade

As produtividades de cana-de-açúcar obtidas na área do lisímetro e na média das áreas amostradas foram de 144,4 t ha⁻¹ e 108,8 t ha⁻¹, respectivamente. Tal diferença de produtividade pode ser explicada por diferenças de estande e variações na fertilidade do solo entre as áreas amostradas e a área do lisímetro.

Utilizando a mesma variedade de cana (SP71-6949), irrigada por pivô central, em Capim, PB, Silva et al. (2009) obtiveram produtividade máxima de 108 t ha⁻¹. No entanto, aquela produtividade foi obtida com o uso de doses de N e K superiores às utilizadas no presente estudo (236 kg de N e 222 kg de K₂O), divididas em quatro aplicações em cobertura, o que evidencia a maior eficiência da aplicação via fertirrigação.

Segundo Doorenbos e Kassam (1979), a produtividade da cana-de-açúcar pode variar entre 50 t ha⁻¹ e 150 t ha⁻¹, ou mais, dependendo da duração do período vegetativo total e do tipo de cultivo (cana planta ou soca). Produtividades de 100 t ha⁻¹ a 150 t ha⁻¹ podem ser consideradas boas para a cana-de-açúcar irrigada, em regiões tropicais e subtropicais secas.

Evapotranspiração da cultura (ET_c)

Dados diários da evapotranspiração da cana-de-açúcar (ET_c) medidos no lisímetro de pesagem e da evapotranspiração de referência (ET_o), estimados pelo método FAO Penman-Monteith, são apresentados na

Figura 7. Nos primeiros 30 dias após o plantio, que corresponde ao período de brotação e estabelecimento do cultivo, os valores de ET_c foram baixos (média de $1,1 \text{ mm d}^{-1}$) e muito inferiores aos de ET_o . Como, nesse período, a área foliar e a fração do solo coberta pela cultura eram pequenas ($f_c < 0,1$), era esperado que as perdas de água ocorressem principalmente devido à evaporação e fossem limitadas à área da superfície do solo umedecida pelos gotejadores.

Dos 30 aos 100 DAP, os valores diários de ET_c aumentaram rapidamente, seguindo o aumento da área foliar da cultura, indicado indiretamente pelo crescimento da cobertura do solo pela cultura, passando de uma média de $1,3 \text{ mm d}^{-1}$ no início, para $5,4 \text{ mm d}^{-1}$ ao final do período em questão.

A partir dos 100 DAP até os 310 DAP, os valores de ET_c mantiveram-se próximos dos valores de ET_o , com variações diárias decorrentes das variações das condições climáticas. Nesse período, foram observados os mais altos valores diários de ET_c durante o ciclo da cultura ($6,7 \text{ mm d}^{-1}$). A partir dos 318 DAP até a suspensão das irrigações (360 DAP), a ET_c apresentou uma tendência de queda em relação à ET_o .

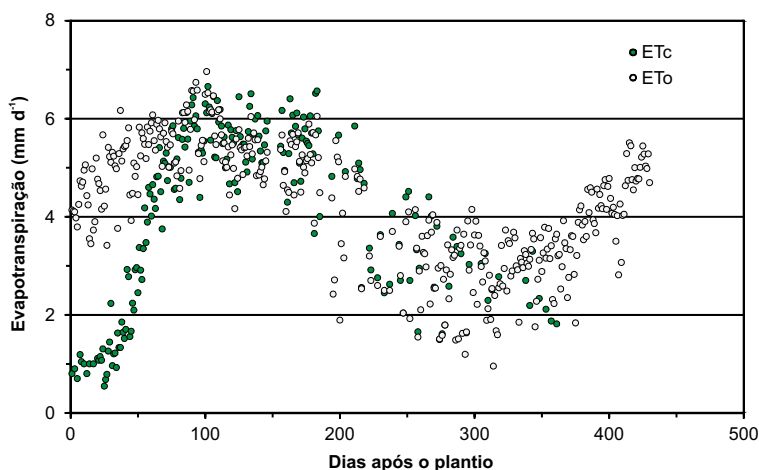


Figura 7. Evapotranspiração da cultura (ET_c) medida no lisímetro de pesagem e evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pelo método FAO Penman-Monteith (ET_o) durante o ciclo da cana planta.

Coefficientes de cultivo (Kc)

Na Tabela 3, são apresentados os coeficientes de cultivo médios para as fases fenológicas da cana-de-açúcar medidos em Paraipaba, CE, e respectivos valores indicados pela FAO, ajustados para as condições locais de clima, fração do solo umedecido e frequência de irrigação, de acordo com a metodologia descrita por Allen et al. (1998). Na Figura 8, é apresentada a curva do Kc para a cana planta irrigada por gotejamento subsuperficial.

Tabela 3. Coeficientes de cultivo (Kc) médios observados nas fases de desenvolvimento do primeiro ciclo da cana-de-açúcar, irrigada por gotejamento subsuperficial e valores de Kc recomendados pela FAO (Kc-FAO).

Fase fenológica	Dias após o plantio	Kc observado	Kc-FAO
Inicial	1 a 31	0,23	0,24
Desenvolvimento vegetativo	32 a 85	0,26 a 0,97	0,25 a 1,15
Intermediária	86 a 317	1,03	1,17
Final	318 a 360	1,00 a 0,50	1,13 a 0,67

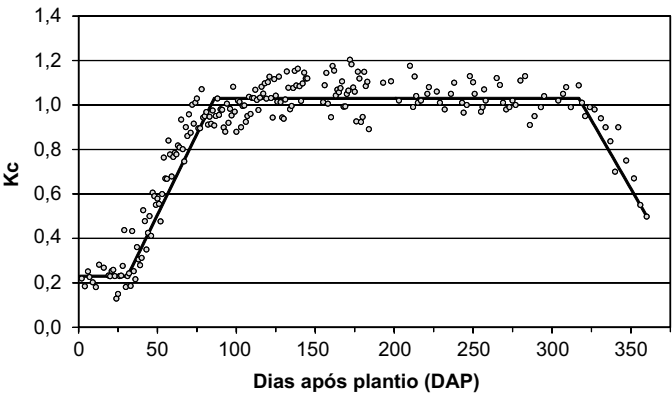


Figura 8. Coeficientes de cultivo determinados durante o primeiro ciclo da cana-de-açúcar.

Na fase inicial, o valor de Kc obtido (0,23) foi muito próximo do valor indicado por Allen et al. (1998), após os ajustes para as condições de fração de solo molhado pelos gotejadores e a frequência da irrigação.

Na região de Campos dos Goytacazes, RJ, Lyra et al. (2012) reportaram valores de K_c de 0,28 a 0,41 na fase inicial da cana-de-açúcar, dependendo da textura e da frequência de molhamento do solo.

Na fase de crescimento vegetativo (32 a 85 DAP), o K_c aumentou de forma acentuada e contínua, principalmente no período do perfilhamento (a partir de 44 DAP). Nessa fase, o aumento do K_c está diretamente relacionado com o aumento da transpiração, que por sua vez está relacionado com o aumento da área foliar (e, consequentemente, da cobertura do solo) da cultura (Figura 5) (ALLEN et al., 1998).

O valor do K_c na fase de desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar pode ser estimado com boa precisão ($r^2 = 0,991$) a partir da fração da superfície do solo coberta pela cultura, por um modelo quadrático negativo (Figura 9). O bom ajuste do modelo permite uma aproximação mais precisa do K_c na fase de desenvolvimento, em relação à simples interpolação entre os valores de K_c inicial e intermediário.

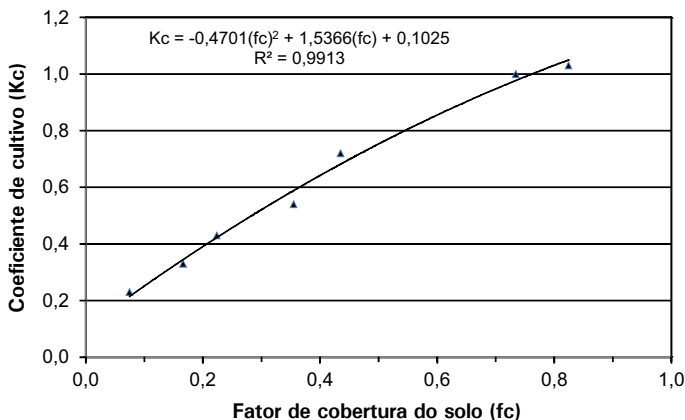


Figura 9. Relação entre o coeficiente de cultivo (K_c) e a fração da superfície do solo coberta pela cultura (f_c , decimal) na fase de desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar.

Na fase intermediária, o valor diário do K_c variou de 0,9 a 1,2, com média de 1,03. Os maiores valores de K_c nessa fase foram observados na fase de crescimento dos colmos (de 110 a 280 DAP). Segundo

Diola e Santos (2010), essa é a fase mais importante do cultivo, pois é quando ocorrem a formação e o alongamento do colmo, que resulta em produção. O Kc médio da fase intermediária observado no presente estudo foi 12% inferior ao valor indicado pela FAO (ALLEN et al., 1998) e ajustado para as condições locais, considerando-se a altura das plantas, a velocidade do vento e a umidade relativa do ar. Esse fato pode estar relacionado às condições meteorológicas do local e/ou à utilização da irrigação subsuperficial. Embora não informado na publicação, provavelmente o valor médio de Kc indicado pela FAO para a fase intermediária da cana-de-açúcar foi obtido a partir de estudos realizados em condições de irrigação por aspersão ou superfície, em que as perdas por evaporação são maiores que as perdas que ocorrem na irrigação subsuperficial.

Utilizando o método do balanço de energia com base na razão de Bowen, Watanabe et al. (2004) observaram valor de Kc de 1,10 na fase intermediária da cana-de-açúcar na Tailândia. Na Austrália, para a cana-de-açúcar irrigada por sulcos, Inman-Bamber e McGlinchey (2003) obtiveram valores de Kc inicial, intermediário e final iguais a 0,4; 1,24 e 0,7, respectivamente. Na região Norte Fluminense, RJ, Souza et al. (1999) encontraram valores de Kc de 0,60; 1,10 e 0,62 para as fases inicial, intermediária e final, respectivamente. Ou seja, nas três fases foram obtidos valores de Kc mais altos que os obtidos no presente estudo, o que provavelmente se deve às maiores perdas por evaporação causadas pela irrigação por aspersão do tipo canhão utilizada naquele estudo.

Na região semiárida do Submédio do Vale do São Francisco, em cultivo de cana soca irrigado por sulcos, Silva et al. (2012) observaram valores de Kc de 0,65 na fase inicial, 1,10 na fase intermediária e 0,85 na fase de maturação. Nesse estudo, os autores estimaram a ETc pelo método do balanço de energia com base na razão de Bowen.

Na região costeira da Paraíba, Silva et al. (2013) estimaram a ETc utilizando o método do balanço hídrico do solo e obtiveram valores médios de Kc para a cana soca irrigada por pivô central de 0,18, 1,06 e

0,76, nas fases inicial, intermediária e final, respectivamente. Ou seja, os valores de Kc nas fases inicial e intermediária foram semelhantes aos valores obtidos no presente estudo.

Conclusões

Nas condições edafoclimáticas e de manejo da cultura do experimento, a evapotranspiração da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial variou de 0,54 mm d⁻¹, na fase inicial, a 6,7 mm d⁻¹, na fase intermediária.

No manejo da irrigação por gotejamento subsuperficial do primeiro ciclo da cana-de-açúcar, devem ser utilizados valores de coeficientes de cultivo (Kc) de 0,23, 1,03 e 0,50, nas fases inicial, intermediária e final, respectivamente.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro e à Netafim Brasil Sistemas e Equipamentos de Irrigação Ltda., pelo fornecimento de materiais de irrigação e implementos para a implantação do experimento.

Referências

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**. Rome: FAO, 1998. 299 p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56)

CARR, M. K. V.; KNOX, J. W. The water relations and irrigation requirements of sugar cane (*Saccharum Officinarum*): a review. **Experimental Agriculture**, v. 47, n. 1, p. 1-25, 2011.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L.; GARCIA, C. J. B.; DUENHAS, L. H. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. **Irriga**, v. 13, n. 1, p. 1-11, 2008.

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Ed.). **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool tecnologia e perspectivas**. Viçosa: UFV, 2010. p. 25-49.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 193 p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 33).

INMAN-BAMBER, N.G.; McGLINCHEY, M.G. Crop coefficients and water use estimates for sugarcane based on long-term Bowen ratio energy balance measurements. **Field Crops Research**, v. 83, n. 2, p.125-138, 2003.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v. 92, n. 2, p. 185-202, 2005.

LAMM, F. R.; BORDOVSKY, J. P.; SCHWANKL, L. J.; GRABOW, G. L.; ENCISO-MEDINA, J.; PETERS, R. T., COLAIZZI, P. D.; TROOEN, T. P.; PORTER D. O. Subsurface drip irrigation: status of the technology in 2010. **Transactions of the ASABE**, v. 55, n. 2, p. 483-491, 2012.

LYRA, G. B.; SILVEIRA, E. L.; LYRA, G. B.; PEREIRA, C. R.; SILVA, L. D. B.; SILVA, G.

M. Coeficiente da cultura da cana-de-açúcar no estágio inicial de desenvolvimento em Campos dos Goytacazes, RJ. **Irriga**, v. 17, n. 1, p. 102-113, 2012.

MIRANDA, F. R.; YODER, R. E.; SOUZA, F. de. Instalação e calibração de um lisímetro de pesagem no Projeto de Irrigação Curu-Paraipaba, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 107-110, 1999.

ROCHA, F. C. S.; LEÃO, M. C. S.; ASSIS JUNIOR, R. N. Avaliação técnica de um plantio comercial de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) microirrigado por gotejamento subsuperficial. **Irriga**, v. 7, n. 1, p. 18-28, 2002.

SILVA, A. B.; DANTAS NETO, J.; FARIA, C.H.A.; AZEVEDO, C.A.V.; AZEVEDO, H. M. Rendimento e qualidade da cana-de-açúcar irrigada sob adubações de nitrogênio e potássio em cobertura. **Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 236-241, 2009.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. S.; GOMES JÚNIOR, W. F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 64-71, 2012.

SILVA, V. P. R.; SILVA, B. B.; ALBUQUERQUE, W. G. ; BORGES, C. J. R.; SOUZA, I. F.; DANTAS NETO, J. Crop coefficient, water requirements, yield and water use efficiency of sugarcane growth in Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 128, n. 1, p. 102-109, 2013.

SOUZA, E. F.; BERNARDO, S.; CARVALHO, J. A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três cultivares, em Campos dos Goytacazes, RJ. **Engenharia Agrícola**, v. 19, n. 1, p. 28- 42, 1999.

TEJERA, N. A.; RODÉS, R.; ORTEGA, E.; CAMPOS, R.; LLUCH, C. Comparative analysis of physiological characteristics and yield components in sugarcane cultivars. **Field Crops Research**, v. 102, n. 1, p. 64-72, 2007.

WATANABE, K.; YAMAMOTO, T.; YAMADA, T.; SAKURATANI, T.; NAWATA, E.; NOICHANA, C.; SRIBUTTA, A.; HIGUCHI, H. Changes in seasonal evapotranspiration, soil water content, and crop coefficients in sugarcane, cassava, and maize fields in Northeast Thailand. **Agricultural Water Management**, v. 67, n. 2, p. 133-143, 2004.

WIEDENFELD, B. Scheduling water application on drip irrigated sugarcane. **Agricultural Water Management**, v. 64, n. 2, p. 169-181, 2004.



Agroindústria Tropical